

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-7>

УДК 631.3

Т. О. Кутковецька¹, канд. екон. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-4879-2954

О. Б. Мелентьєв², канд. пед. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-1646-6844

¹ Уманський національний університет² Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

e-mail: tanya_kut@ukr.net

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОРПУСУ ПЛУГА З ОБГРУНТУВАННЯМ ЙОГО КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ

Анотація. У статті проведено дослідження щодо підвищення якості основного обробітку ґрунту шляхом удосконалення робочих органів відвального плуга з обґрунтуванням його конструктивних параметрів. Наукову новизну становить установлення додаткових плоскорізальних робочих органів на кожному корпусі плуга з боку польового обрізу. При цьому практична цінність полягає в забезпеченні стійкості ходу орного агрегату, зниженні тягового опору та підвищенні якості глибокого розпушування ґрунту. Основні результати дослідження показали, що запропонована установка додаткового робочого органу дозволить проводити пошаровий обробіток ґрунту й цим самим покращити якісні показники технологічної операції, що відповідають агротехнічним вимогам. Отримані дослідження показали, що запропоноване конструктивне технічне рішення забезпечить високу продуктивність роботи орного агрегату.

Ключові слова: відвальна оранка, обробіток ґрунту, плоскорізальні робочі органи, тяговий опір, орний агрегат, леміш, польова дошка, розпушування ґрунту, технологічні операції.

Постановка проблеми. З усього комплексу польових робіт найбільш енергоємним процесом є відвальна оранка. За багаторічними дослідженнями провідних учених на виконання відвальної оранки потрібно до 35–40% енергетичних і 22–30% трудових витрат [1, с. 52]. Натепер багато виробників повертаються до традиційних технологій вирощування сільськогосподарських культур і глибокого обробітку з перевертанням скиби ґрунту. З огляду на це підвищення ефективності роботи відвальних плугів для основного обробітку ґрунту шляхом удосконалення його робочих органів є найкращим розв'язанням завдання.

Установлення додаткових плоскорізальних робочих органів на кожному корпусі плуга з боку польового обрізу дозволить забезпечити стійкість ходу орного агрегату, зниження тягового опору і, отже, підвищення якості технологічного процесу глибокого розпушування ґрунту. Тому тема цього дослідження натепер є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Питанням, що пов'язані з конструкцією робочих органів відвальних плугів, присвячено роботи В.В. Ауліна [1, с. 29], А.А. Тихого [1, с. 16], О.А. Дзюби [2, с. 227], С.М. Коломійця [3, с. 154], І.О. Сірого [4, с. 173] та ін. Проте нині існує низка питань, які ще недостатньо розглянуті, стосовно вдосконалення робочих органів відвального плуга, який забезпечить підвищення якості глибокого розпушування ґрунту.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою статті є проведення дослідження щодо підвищення якості та зниження енергоємності основного обробітку ґрунту шляхом удосконалення робочих органів відвального плуга з обґрунтуванням його конструктивних параметрів.

Основна частина. У сучасному вирощуванні сільськогосподарських культур для глибокого обробітку ґрунту використовують відвальні плуги.

Відвальний плуг обробляє ґрунтовий шар. Залежно від виду і типу ґрунту, на якому проводиться оранка, розрізняють три типи шарів: дернина, стерня та пожнивні залишки у вигляді м'якого шару ґрунту. Вони різні за своїми технологічними властивостями по відношенню до обробітку плугом. Верхній шар (до 10 см) нездатний кришитися з різних причин, тому що в дернині він пронизаний корінням рослин. Переплетений ними верхній шар ґрунту пружний, тому для таких ґрунтів виконують основний обробіток відвальним плугом із перевертанням скиби ґрунту [5, с. 50].

Для покращення якості обробітку ґрунту плуг обладнують передплужником. Передплужник являє собою маленький корпус, що розташовується попереду основного корпусу плуга і має практично ті ж самі робочі органи, але в зменшеному вигляді [1, с. 72].

У відвального плуга є ще один важливий робочий орган – польова дошка, яка відповідає за горизонтальне зміщення орного агрегату, при цьому корпус плуга спирається об стіну борозни. У багатокорпусних плугів значна частина бічного тиску скиби ґрунту на всі корпуси сприймається польовими дошками, тому під час роботи швидко зношується її бічна грань, що веде до порушення правильного ходу плуга. Для продовження терміну служби польових дошок сучасною промисловістю випускаються двосторонні польові дошки, що дозволяє використовувати спочатку її одну сторону, а потім – іншу [6].

Якість роботи відвального плуга визначають по зовнішньому вигляді поверхні обробленого поля та внутрішньому – зораний шар, стан дна та стінки борозни.

Відвальні плуги мають один загальний недолік – забивання робочих органів пожнивними рештками та підвищений тяговий опір.

З метою зниження тягового опору і розвороту плуга в горизонтальній площині деякими науковцями [7, с. 97] пропонувалися «зворотні» лемеші, що встановлювалися на польових дошках відвальних корпусів з боку стінки борозни. Випробування плуга з таким конструкторським рішенням показало зниження тягового опору до 20% й покращення якісних показників роботи. Проте головним недоліком використання такого типу плугів є нераціональна витрата енергії в технологічному процесі оранки.

Зниження тягового опору орного агрегату й енергоємності процесу основного обробітку з обертанням скиби ґрунту можна отримати в разі вдосконалення технологічного процесу оранки.

Установка різальних робочих органів зліва дозволяє запобігти розвороту плуга в горизонтальній площині й змінити умови роботи польових дошок плужних корпусів відвальних плугів, за рахунок чого знизити енергоємність процесу обробітку ґрунту до 20%.

Також можна відзначити, що зміна форми оброблюваного шару ґрунту має сприяти збільшенню кута обертання скиби ґрунту, а витриманість конструктивної ширини захвату плуга запобіжить порушенню геометричних параметрів робочих органів і тим самим вплине на покращення якості обробітку ґрунту [8, с. 140].

Розглянуті технічні рішення, що спрямовані на вдосконалення технологічного процесу основного обробітку ґрунту із застосуванням різних додаткових робочих органів, можна віднести до методу пошарового обробітку ґрунту. Процес такого методу полягає в одночасному обробітку шару ґрунту на задану глибину у двох площинах [9, с. 139].

У нашому випадку встановлюється додатковий робочий орган на польову дошку [4, с. 176] у верхній її частині з боку польового обрізу для того, щоб підрізати стінку борозни на заданій висоті. Таким чином, установлення додаткового робочого органу дозволить проводити пошаровий обробіток ґрунту, забезпечити зниження тягового опору орного агрегату шляхом зниження питомого тиску на польову дошку, а також покращити якісні показники технологічної операції.

Відвальне розпушування є основним видом відвального обробітку, що забезпечує обертання, кришіння, розпушування, часткове перемішування ґрунту, підрізання та закладення бур'янів. На подолання сил тертя, що виникають на поверхнях робочих органів ґрунтообробних машин, витрачається до 50% тягової потужності трактора. Питомий опір ґрунту під час оранки є основним показником і визначається експериментально шляхом вимірювання тягового опору корпусу плуга і перерізу скиби, що ним вирізується. Механічний склад ґрунту є визначальним, тому що збільшення у ґрунті кількості поживних залишків, переущільнення від технологічної колії тощо викликає пропорційне збільшення питомого опору [10, с. 375; 11, с. 107].

За робочу гіпотезу прийнято, що застосування додаткового плоскорізального робочого органу збільшує нормальну реакцію ґрунту на нього, внаслідок чого зменшується сила тертя, яка діє на польову дошку, що в кінцевому підсумку веде до зменшення сили тяги [7, с. 97].

Вплив сил, що діють на корпус відвального плуга із запропонованим плоскорізальним робочим органом, показано на рис. 1.

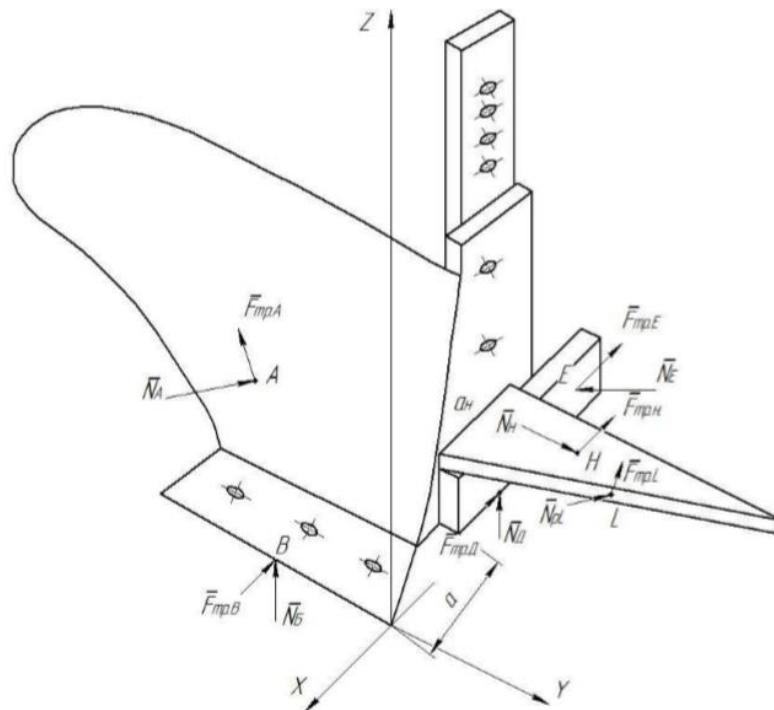


Рис. 1. Модернізований корпус плуга з шістьма характерними точками:
 $N_A, N_B, N_D, N_E, N_L, N_H$ – нормальні реакції ґрунту в характерних точках корпусу плуга
 $F_{трA}, F_{трB}, F_{трD}, F_{трE}, F_{трL}, F_{трH}$ – сили тертя у відповідних точках

Вважаємо, рух плуга під дією сил тяги, реакцій ґрунту на робочі органи, сили тяжіння сталими. Для опису руху виберемо систему координат $XYZO$ з початком у точці O , що збігається з крайньою задньою точкою по лівій дошці корпусу плуга. Рух відбувається з постійною швидкістю v вздовж осі X , що збігається з краєм борозни. Площина XOY горизонтальна та збігається із дном борозни, а OZ – вертикальна. Характер руху, що встановився, з постійною швидкістю дозволяє виключити випадкові фактори, що впливають на рух плуга, які пов'язані з неоднорідністю властивостей ґрунту, тому умови, що забезпечують спокій або рівномірний прямолінійний рух плуга, виходячи з довільного просторового розташування сил, що діють на елементи плуга, записано у вигляді шести рівнянь рівноваги [7, с. 100].

Для спрощення опису дії сил на плуг під час оранки визначено шість характерних точок на корпусі:

- 1-ша – $C_{\text{від}}$ – точка A прилягання реакції ґрунту на відвал і леміш;
- 2-га – $C_{\text{л}}$ – середина основи леміша, точка B ;
- 3-тя – $C_{\text{опд}}$ – середина основи польової дошки, точка D ;
- 4-та – $C_{\text{цд}}$ – центр польової дошки, точка E ;
- 5-та – $C_{\text{рн}}$ – середина леза ножа, точка L ;
- 6-та – $C_{\text{н}}$ – точка перетину медіан трикутного плоскорізального робочого органу, точка H .

Дія ґрунту на польову дошку, леміш із відвалом, плоскорізальний робочий орган у загальному випадку вважаємо рівномірно розподіленим по всій поверхні відповідного робочого органу, але для спрощення силового розрахунку робили такі припущення:

- 1) результуюча реакція ґрунту на відвал і леміш корпусу прикладена в точці A ;
- 2) реакція ґрунту на основу леміша прикладена в точці B ;
- 3) нормальна реакція ґрунту на основу польової дошки прикладена в середині основи (точка D), а результуюча сила нормальної реакції ґрунту на бічну поверхню польової дошки прикладена в центрі бічної поверхні польової дошки, в точці E ;
- 4) реакція ґрунту на лезо плоскорізального робочого органу прикладена в точці L ;
- 5) реакція ґрунту на плоскорізальний робочий орган у формі трикутника прикладена в точці перетину його медіан H .

Усі нормальні реакції перпендикулярні до площин або дотичних площин у відповідних точках робочих органів, а сили тертя лежать у цих площинах.

Аналіз сил, які діють на плуг, показує, що лінії дії сил у точці їх застосування, характер їх розподілу на окремі частини плуга дають підставу зробити висновок про те, що за класифікацією систем сил, які діють на тверде тіло, цю систему можна вважати довільно-просторовою. Як відомо з теоретичної механіки, умови рівноваги такої системи сил включає шість рівнянь: три рівняння проєкцій на осі XYZ і три рівняння моментів щодо цих осей.

Так, за результатами досліджень було визначено тяговий опір плуга залежно від швидкості руху орного агрегату та ширини захвату з додатковим плоскорізальним робочим органом (рис. 2) за заданими параметрами (табл. 1).

Таблиця 1

Показники тягового опору залежно від швидкості руху агрегату під час обробітку робочими органами

трактора	Серійний робочий орган		ДПРО 200 мм		ДПРО 300 мм	
	Фактична швидкість поступального руху, км/год	Тяговий опір плуга, кН	Фактична швидкість поступального руху, км/год	Тяговий опір плуга, кН	Фактична швидкість поступального руху, км/год	Тяговий опір плуга, кН
3	5,34	13,1	5,52	11,90	5,65	11,10
4	6,16	14,37	6,39	13,00	6,57	11,90
5	7,15	15,73	7,61	13,63	7,76	12,50

Як видно з графіка (рис. 2), за використання додаткових робочих органів тяговий опір орного агрегату значно менший, порівняно з плугом з використанням серійних робочих органів. З проведеного математичного аналізу оптимальним режимом руху є використання 3-ї передачі з понижувальним редуктором, тяговий опір становить 11,10 кН.

Також були проведені дослідження відносно зміни кришення ґрунту в ґрунтовому горизонті залежно від швидкості руху орного агрегату на заданій передачі трактора та ширини захвату (рис. 3) за заданими параметрами (табл. 2).

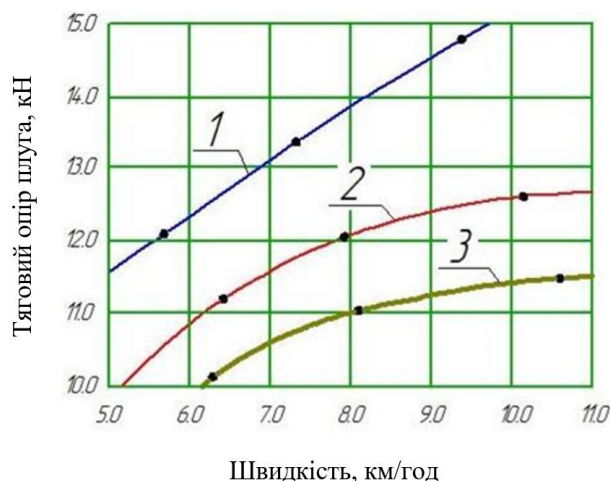


Рис. 2. Залежність тягового опору плуга від швидкості руху та ширини захвату відвального плуга із серійними та модернізованими робочими органами: 1 – без ДПРО (серійний плуг); 2 – ДПРО 200×70×8 мм; 3 – ДПРО 300×100×8 мм.

Таблиця 2

Параметри роботи під час обробітку відвальним плугом

Передача трактора	Серійний відвальний плуг		ДПРО 200 мм		ДПРО 300 мм	
	Фактична швидкість поступального руху, км/год	Кришення ґрунту, %	Фактична швидкість поступального руху, км/год	Кришення ґрунту, %	Фактична швидкість поступального руху, км/год	Кришення ґрунту, %
3	5,34	85,9	5,52	87,5	5,65	89,4
4	6,16	91,8	6,39	94,0	6,57	96,3
5	7,15	92,9	7,61	95,2	7,76	97,9

Як видно з рис. 3, порівняльна характеристика кришення ґрунту за фракційного складу 0–50 мм показує, що кришення ґрунту в разі застосування додаткових робочих органів більш ефективно, ніж за параметрів, близьких до швидкості руху $V=7,76$ км/год, кришення ґрунту такої фракції становить 97,9 %.

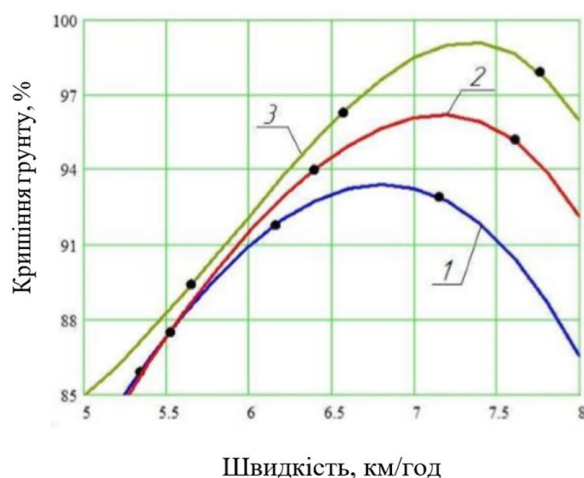


Рис. 3. Залежність зміни кришення ґрунту від швидкості руху та довжини додаткових плоскорізальних робочих органів: 1 – без ДПРО (серійний плуг); 2 – ДПРО 200×70×8 мм; 3 – ДПРО 300×100×8 мм

За результатами отриманих залежностей можна зробити висновок, що запропонована конструкція із застосуванням додаткових робочих органів працездатна за таких параметрів: довжина плоскорізального робочого органу до 300 мм за швидкості руху до 8 км/год.

За таких параметрів досягаються оптимальні агротехнічні та силові показники роботи орного агрегату, що повністю відповідають вихідним агротехнічним вимогам.

Висновки. Таким чином, у результаті проведених досліджень ми досягли поставленої мети, оскільки наведено конструкцію вдосконаленого робочого органу відвального плуга та визначено його конструктивні параметри. Також проведено теоретичний аналіз запропонованого модернізованого корпусу плуга з додатковим плоскорізальним робочим органом. При цьому визначено, що застосування додаткового робочого органу плуга призводить до збільшення нормальної реакції на польову дошку, що відповідає зменшенню сили тяги. Крім того, запропонована установка додаткового робочого органу дозволить проводити пошаровий обробіток ґрунту і цим самим покращити якісні показники технологічної операції.

Отже, вищевикладене дає передумови для подальших досліджень цієї проблематики та впровадження у виробництво запропонованого технічного рішення.

Список використаних джерел

1. Аулін В.В., Тихий А.А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2017. 278 с.
2. Дзюба О.А. Стан питання і шляхи вдосконалення лемішних начіпних плугів. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 11. С. 226–232.
3. Леженкін О.М., Коломієць С.М. Динаміка ґрунтообробних агрегатів. *Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції* : матеріали міжнародного науково-практичного форуму. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. Ч. 1. С. 153–156.
4. Сірий І.О. Передумови основного обробітку ґрунту шляхом створення деформацій розтягування-вигину і зсуву. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2016. №. 4. С. 171–181.
5. Pratiwi D.K., Chandra H., Utami N.P., Irawan O., Purba A.N. Damage Analysis of Moldboard Plow. *E3S Web of Conferences*. Том. 68. 04004. 2018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186804004>
6. Nassir J. Effect of Moldboard Plow Types on Soil Physical Properties Under Different Soil Moisture Content and Tractor Speed. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 31(1). 48–58. <https://doi.org/10.37077/25200860.2018.75>
7. Котенко С.С., Калінін О.Є. До методики розрахунку коефіцієнтів відновлення лемешів плугів. *Сільськогосподарські машини*. 2015. Вип. 32. С. 95–102.
8. Непочатенко В.В., Мелентьев О.Б. Покращення якісних показників плуга під час виконання технологічної операції оранки на перезволожених ґрунтах. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2015. Вип. 3. С. 138–143.
9. Василенко М.О., Калінін О.Є. Зони зміцнення лемешів плугів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. Вип. 170. С. 138–141.
10. Alwan A.A Field Study of Soil Pulverization Energy by using Different Moldboards Types Under Various Operating Condition. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 32(2). 373–388. <https://doi.org/10.37077/25200860.2019.284>
11. Hamid A.A., Alsabbagh A.R. Effect of Moldboard types, Two depths of Tillage and Two speeds of Tractor in some Physical Properties and Pulverization of Soil. *Kufa Journal For Agricultural Sciences*. Vol. 15 (1), 105–116. <https://doi.org/10.36077/kjas/2023/v15i1.10334>

Стаття надійшла до редакції 22.03.2025 р.

**T. Kutkovetska¹, B. Melentiev²**¹Uman National University²Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University**MODERNIZATION OF THE PLOUGH BODY WITH SUBSTITUTION
OF ITS DESIGN PARAMETERS***Summary*

The article presents research on improving the quality of basic tillage by improving the working elements of a dump plow with a justification of its design parameters. It has been established that today many producers are returning to traditional technologies for growing crops and deep tillage with turning over soil plots, which occupies one of the main places. Therefore, it is important to increase the efficiency of dump plows for primary soil cultivation by improving their working elements. The scientific novelty in this study is the installation of additional flat-cutting working bodies on each plow body on the field edge side. The practical value lies in ensuring the stability of the plowing unit, reducing traction resistance and improving the quality of deep soil loosening. The main results of the study showed that a reduction in the draft resistance of the plowing unit and the energy intensity of the main tillage process with rotation of the soil clod can be obtained by improving the technological process of plowing, namely, by conducting layer-by-layer tillage. It can be noted that changing the shape of the cultivated soil layer should contribute to an increase in the angle of rotation of the soil clod, and maintaining the constructive width of the plow's grip will prevent the violation of the geometric parameters of the working elements and thereby improve the quality of soil cultivation. It was determined that the proposed design with the use of additional working elements is operational with the following parameters: the length of the flat-cutting working element is up to 300 mm at a speed of up to 8 km/h. With these parameters, optimal agrotechnical and power performance indicators of the plowing unit are achieved, which fully meet the initial agrotechnical requirements. The obtained studies showed that the proposed constructive technical solution will ensure high productivity of the plowing unit.

Keywords: plow, dump plowing, soil cultivation, flat-cutting working elements, traction resistance, plowing unit, ploughshare, field board, soil loosening, technological operation.